

離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統建置

顏厥正¹ 張恆文² 柯昱明¹
工業技術研究院¹ 台灣地球觀測學會²

摘要

國內離岸風電發展透過示範機組、示範風場及潛力場址、與區塊開發等階段，將於2025年完成5.5 GW的設置，依據歐洲離岸風電開發經驗，離岸風電海上作業經費占總建置費用的25%~45%，占運維費用的15%~20%，其中海事工程及運維主要風險來自於海氣象容許作業時間、吊裝施工船隻之動員成本及風電設備承受之嚴苛環境，因此離岸風電場之完工時程與運維成本常遠高於設計規劃階段之預期。工業技術研究院綠能與環境研究所有鑑於此，在科技部、能源局、交通部中央氣象局及國研院的綠能科技創新研究與服務平台計畫下取得能源局委託發展離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統，利用海氣象機率性預報，結合AIS船舶辨識系統及各項海域施工特性及限制，使用蒙地卡羅模擬來計算離岸作業執行機率，以做為施工運維船舶派遣與追蹤管理之依據。離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統架構在現有的海氣象系集模擬技術與中央氣象局的合作管道上，取得與建立關鍵機率性預報資訊，結合web-based三維地理資訊系統與使用者介面，即時算出離岸施工的起訖時間機率分布，進而進行船隻的派遣。現階段已完成系統雛形建置包括系集資料讀取功能、三維地理資訊展示功能、浪高風速與日光篩選條件及連續作業時數設定、條件因子開關、蒙地卡羅模擬運算、分析結果展示與繪圖、即時海氣象觀測資料展示、AIS資訊展示、以及初步的船舶派遣機制等。

關鍵字：離岸風電、決策支援系統、海氣象系集預報、風險評估、AIS、船舶派遣、蒙地卡羅方法

一、前言

依據歐洲離岸風電開發經驗，離岸風電海上作業經費占總建置費用的25%~45%，占運維費用的15%~20%，其中運維及海事工程主要風險來自於海氣象容許作業時間、吊裝施工船隻之動員成本及風電設備承受之嚴苛環境。台灣的離岸風電發展正如火如荼的進行中，已完工的海上觀測塔與示範計畫離岸風機，以及日後遴選及競標階段的風機建置皆需經歷離岸施工的階段，日後在運維時期也倚重海上作業的順利進行。鑒於各種風險評估軟體系統及國內海域施工管理系統並未針對離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策支援之應用，因此在科技部主導的綠能科技創新研究與服務平台計畫中，經濟部能源局與交通部中央氣象局提出氣象資訊在綠能開發之應用服務工作項目，而其中能源局提出要建置離岸風機施工船舶派遣追蹤決策系統，以因應離岸風力發電海上作業費用龐大，提供開發商及施工團隊風險參考，並進行施工船舶的管理，以利掌握工期、降低開發成本。

工業技術研究院綠能與環境研究所協助能源局所發展與建置離岸風機施工船舶派遣與追蹤系統，利用短期海氣象機率性預報及長期氣候窗統計，結合各項海域施工特性及限制、AIS船舶追蹤

技術，船舶派遣機制、與三維地理資訊系統，來計算離岸作業執行機率及管理施工船隊，得到海上施工整體的風險機率，以做為決策判斷之依據。

離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策支援系統架構在中央氣象局的海氣象系集預報之上，取得系集成員的預報資料，用以建立關鍵機率性預報資訊，結合web-based三維地理資訊系統與使用者介面，即時算出離岸施工的起訖時間機率分布，並結合自動識別系統（Automatic Identification System, AIS）來顯示施工船隻的位置，進而進行施工船隻的派遣與進度掌握。現階段已完成系統雛形建置包括系集資料讀取功能、三維地理資訊展示功能、浪高風速、日光篩選條件及連續作業時數設定、條件因子開關、蒙地卡羅模擬運算、分析結果展示與繪圖、以及即時海氣象觀測資料展示等。

二、應用情境與衍生之技術需求

鑒於離岸施工因為發展離岸風電而大量增加，而現行各種風險評估軟體系統如Oracle Primavera Risk Analysis、@RISK、Risk Simulator、Synergi Life、EasyRisk Manager、及THESIS等並未針對離岸施工之應用，因此需要發展離岸施工風險評估技術，利用短期海氣象機率性預報及長期氣

四、決策系統雛型建置

利用短期海氣象機率性預報及長期氣候窗統計，結合各種船隻的特性及限制，來進行蒙地卡羅模擬，計算在預報海氣象環境下適合出航的機率，以做為船舶派遣決策判斷之依據。離岸風機施工運維決策系統架構如圖3所示。

離岸施工運維決策支援系統雛型已初步建置完成(圖4)。系統是利用Cesium的API建置三維地理資訊系統[5]。Cesium是開放式的JavaScript程式庫，用來展現三維地理資訊創造領先的三維地球影像及地圖，具備靜態和時間動態的內容，在性能、精度、外觀質感、平台的支持、社區群組、和易用性方面不亞於商業軟體。

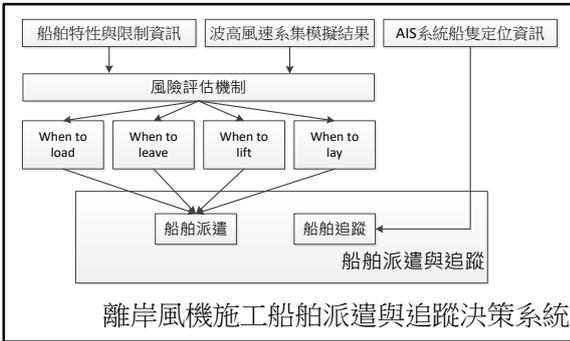


圖3、離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統架構

離岸施工運維決策支援系統雛型經由讀入的風速與波高系集預報資料，在設定風速篩選及波高篩選條件後，加上設定連續施工時數及蒙地卡羅模擬次數後，即可算出每小時可以出海作業的可能性。透過介面可以展示風機的標示、計畫區定位、系集預報讀入分析及風險運算、行政區定位、地址定位、指標位置、及展示三維動畫風機及其相關屬性資料等功能。三維風機動畫及滑鼠點選後顯示屬性資料的視窗畫面如圖5所示。



圖4、離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統雛型

在設定風速篩選條件及波高篩選條件後，即可讀入最新的系集預報資料，展現每小時20個系集中符合條件的百分比。圖6及圖7的最右方2個欄位顯

示直接計算或是常態分布的計算結果，可以看出計算出來的機率雖然略有不同，但相差不選。

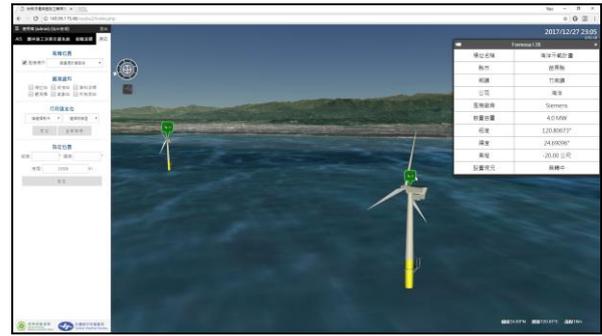


圖5、放大到計畫區可顯示三維動畫風機及屬性

在設定連續作業小時數及蒙地卡羅模擬次數後，按「開始計算」即可算出每小時符合風速及波高條件及所需連續工作時數的機率風險(圖8)。風險評估結果使用Google Chart為網路繪圖開發工具(https://developers.google.com/chart/)，除了以圖形展示結果外，可執行機率亦可列表如圖9所示。

以此案例來看，由於剛開始10小時內符合條件的風速與波高機率為100%，因此在1000次模擬後，可執行機率偏高，從2018/07/30 21:00開始會有系集成員不符合條件，而在2018/07/31 03:00會有8次模擬不符合條件，因此可算出海作業的機率如所示為12÷20=60%。由於此案例所用的系集預報資料只有72小時，因此設定的連續工作小時數若高於剩下可使用的預報資訊，則其百分比將設為0。



圖6、風速符合作業條件的展示及百分比計算



圖7、浪高符合作業條件的展示及百分比計算

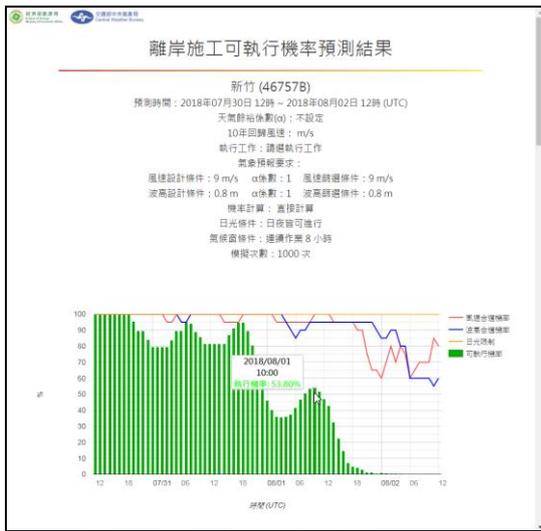


圖8、施工可執行機率預測結果時序列圖

圖9、施工可執行機率預測結果列表

離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統雛型中還增加日光條件設定功能以及各因子開關功能，使用者可以設定工作是否只能在白天或夜晚作業，而所有的條件因子皆可以設定啟用或關閉，如圖10顯示只考慮波浪因子的評估結果。

繪製的圖除了有mouse on展示數值功能外，並加入了局部放大的功能，使用者用滑鼠按住左鍵拖曳即可選取欲放大的區域(圖11)，使用滑鼠右鍵可以恢復原圖大小。

現階段雛型系統的風速與波高系集運算是使用示範資料來進行建置與測試，預計後續將建立即時系統，可即時讀入最新的系集預報結果，讓使用者只要經過簡單的操作即可知道預報期間內每小時的可開始作業機率，希望透過與示範業者的業合計畫，有助於示範計畫相關離岸施工作業的進行。



圖10、只設定波浪條件後的機率預測結果

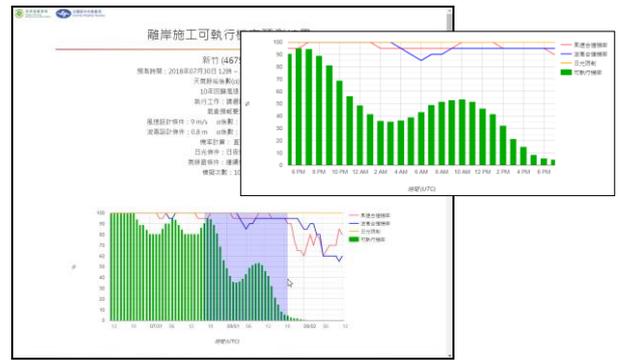


圖11、可執行機率時序列圖可放大展示

離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統雛型除前述的主要風險評估功能外，亦建立了展示海氣象測站即時的觀測資料。使用者可以選擇欲展示的即時觀測站種類，系統即會展示相關測站的位置，進一步點選後即可連結到中央氣象局海象測報中心的網頁，展示該測站的即時資料圖表(圖12)及相關統計圖表(圖13)。

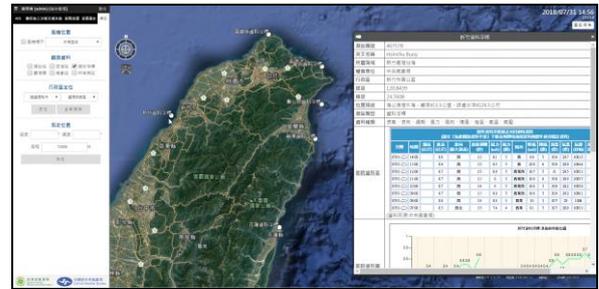


圖12、海氣象測站即時觀測資料展示

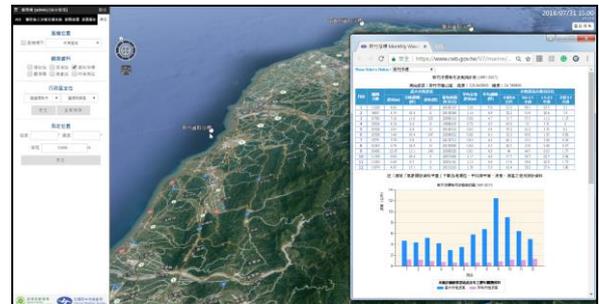


圖13、海氣象測站統計資料展示

本計畫在106年度建置完成船舶追蹤系統，透過自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)接收器，取的船舶AIS資訊，經過系統解碼將船隻資訊顯示在三維地理資訊平台上。由於本系統只針對與離岸風電相關的船隻進行派遣與追蹤，因此船舶的顯示將配合離岸風機的三維立體模型展示，嘗試使用四維立體物件(三維船體加上時間變化)來呈現被追蹤的船隻如圖14所示，這些特定的施工船隻使用三維船體展示可以讓系統操作及決策管

理者很容易地辨別出來，有利於日後船舶的派遣與追蹤作業。

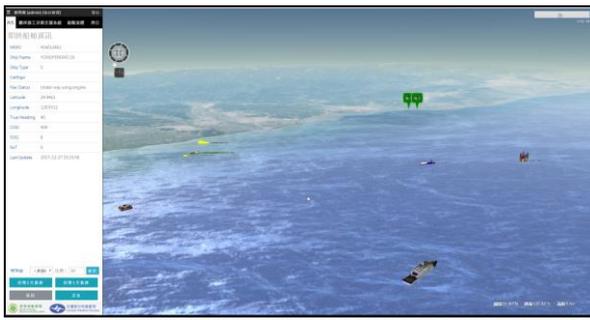


圖14、四維船舶追蹤功能介面

三維船體模型將依照Offshore WIND公司的2016船舶目錄(Vessel DIRECTORY'16)[10]所列的離岸作業船隻種類，建置五種離岸施工運維相關的船隻如表1所示。船舶追蹤功能須要能遠程監控執行計畫船隻並即時記錄其在海上的位置。船隻的位置可以透過前述的AIS接收器來獲取離岸施工運維船隻的現況包括船舶識別碼、船名、位置、航向、及船速等資訊，擷取解碼後的資訊將匯入資料庫中並由船舶派遣與追蹤系統進行讀取與展示。

表1、三維船舶追蹤展示的船舶種類一覽表

種類	圖片	尺寸	特徵	三維船體
人員運輸船 Crew Transfer Vessels		約 19-25 公尺長	平頭小船可能為雙船身	
安裝與建造船 Installation & Construction Vessels		約 60-140 公尺長	平台船有 4-6 根腳及特大吊車	
佈纜船 Cable Layers		約 80-140 公尺長	船中有大圓盤	
住宿船 Accommodation Vessels		約 80-140 公尺長	略像郵輪可能有直升機坪	
多功能工作船 Multicat Work Boats		約 25-30 公尺長	小平台船有小起重機	

107年度也開始建置船舶派遣的功能與操作介面，在上半年度針對離岸風機施工所需要進行的船舶派遣機制進行規畫，包括船隻的種類、開船時間、航行路徑規劃、停留點規劃、施工工期、及回港時間等等的施工過程關鍵點都會進行派遣機制研究與規劃。上半年度針對派遣機制的架構流程初步規劃如圖15所示，透過此規畫初步的操作介面也建置完成(圖16)。

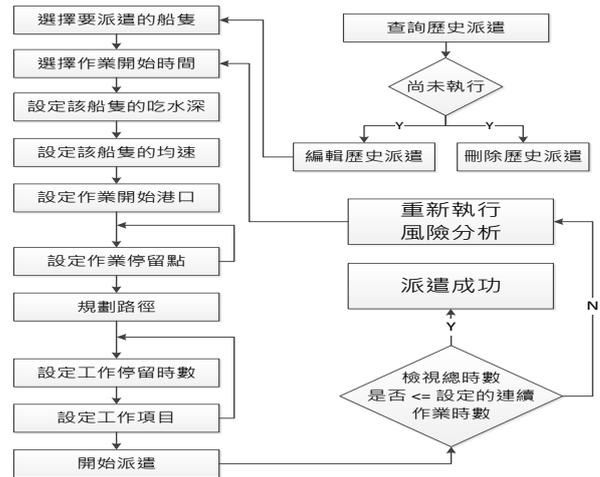


圖15、船舶派遣機制的架構流程

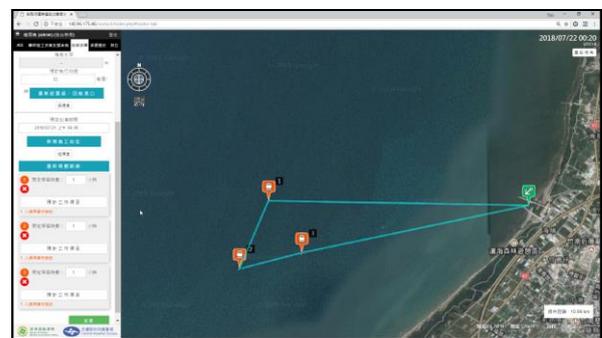


圖16、船舶派遣操作介面

系統操作方式先利用離岸施工決策系統輸入施工船舶可接受之風速、波高，以評估可以作業之時間與機率；點選可作業時間即可進入船舶派遣業面進行派遣，依序輸入船型、吃水深度、預計航速、新增港口、新增施工站位、決定停泊順序、選定各泊站施工內容，即完成派遣，如前述派遣會檢視最後作業的總時間是否與在進行風險評估時相同，若時間不符則會回覆派遣失敗的訊息。

五、後續工作規劃

離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統已建立雛型介面，下半年度將進行實地測試，確保行動式船舶接收器連結到系統上顯示船舶資訊。本計畫有聘請國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系張淑淨教授擔任顧問，在AIS船舶追蹤系統建置、船舶派遣功能建置、及整體的離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統建置上給予指導。張教授提出的意見與指導如下：

- (1) 海纜鋪設並非定點施工，船舶派遣操作介面與派遣機制需考慮海纜鋪設的施工狀況。
- (2) 船舶航行通常不會是直線，需加入功能可設定轉折點或waypoint。

- (3) 中部的航道圖及兩岸直航航道圖可以加入地理資訊系統中，方便規劃派遣航線。
- (4) 3D船舶在派遣時就直接顯示3D模型，不需要再回到AIS的頁面去設定。
- (5) AIS的顯示很多沒有船名，靜態資料應該至少每6分鐘即會傳輸一次，AIS的訊號解析需要再檢查一下。
- (6) AIS靜態資料應該有包含該船隻的吃水深，應可直接帶入派遣系統中，不須自行鍵入。
- (7) AIS解析的資訊中COG單位錯誤，應該要除以10才是「度」。SOG單位也錯誤，應該也是要除以10才是「節」(knot)。
- (8) 船隻進行速度變動，較難設計派遣系統可以動態調整，現階段使用自行輸入的平均船速大致可行。
- (9) 現階段風險評估只針對一個點位，以後在較大範圍的施工需要提供更多的風險評估點位。

船舶派遣與追蹤功能經過張淑淨教授的指導，尚有許多地方需要改進，再經過7月24氣象局與能源局合辦的氣象資訊在綠能開發之應用服務推廣與交流會後，蒐集業者廠商與專家學者的意見後，在下半年度會進行修改。另外也將進行天氣餘裕係數(alpha factor)的導入以及預報期程外的歷史統計資料的風險評估機制的建立。

六、結論

工研院綠能所結合中央氣象局系集預報，發展離岸施工風險評估、船舶追蹤、船舶派遣、及網際網路三維地理資訊等技術，建置離岸風機施工船舶派遣與追蹤系統，利用短期海氣象機率性預報及長期氣候窗統計，結合各項海域施工特性及限制，來計算離岸作業執行機率，得到海上施工整體的風險機率，以做為決策判斷之依據，並進行船舶追蹤與派遣，可以有效地進行離岸風機施工管理。現階段已完成系統雛形建置包括系集資料讀取、三維地理資訊展示、浪高風速、日光篩選條件及連續作業時數設定、條件因子開關、蒙地卡羅模擬運算、分析結果展示與繪圖、即時海氣象觀測資料展示、船舶即時追蹤、及船舶派遣等功能。後續工作除持續改善與測試離岸風場施工船舶追蹤與派遣決策系統外，將進行天氣餘裕係數探討以及預報期程外的歷史統計資料的風險評估機制的建立。期待透過上述技術的整合，建置離岸風機施工船舶派遣與追蹤決策系統，可以全方位協助離岸風場施工以及日後運維業者所需的海氣象客觀分析資訊，降低海氣象不確定性及主觀的判斷所造成之工期延誤，進而有效掌握海上施工成本，提升海上作業安全。

七、謝誌

本論文為經濟部能源局為執行科技部綠能科技創新研究與服務平台計畫所委託氣象資訊在綠能開發之應用服務計畫(107-D0602)的成果，感謝能源局長官的支持與工研院綠能所長官及海洋大學張淑淨教授的指導，以及台灣地球觀測學會與達雲科技公司的協助，同時要感謝中央氣象局提供海氣象系集預報資料，使得本研究可以順利進行。

八、參考文獻

- [1] 顏厥正、張恆文，2016。“離岸施工運維決策支援系統建置”，台灣風能協會會員大會暨學術研討會，2016年12月1日。
- [2] 財團法人工業技術研究院，2016。千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發計畫(1/3)，經濟部能源局，中華民國105年12月。
- [3] 財團法人工業技術研究院，2017。千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發計畫(2/3)，經濟部能源局，中華民國106年12月。
- [4] Actimar, 2016. Actimar web site, <http://www.actimar.fr/>
- [5] Analytical Graphics Inc., 2016. Cesium web site, <https://cesiumjs.org/>
- [6] BMT, 2016. BMT ARGROSS web site, <http://www.bmtargross.com/>
- [7] Chang, Heng-Wen, Chieh-Cheng Yen, Ming-Chung Lin and Chi-Hao Chu, 2017. “Establishment and performance of the ocean wave ensemble forecast system at CWB”, *Journal of Marine Science and Technology*.
- [8] ConWX, 2016. ConWX web site, <http://conwx.com/>
- [9] DNV GL, 2014. Offshore Wind: A Manifesto for Cost Reduction
- [10] Offshore WIND, 2017. Vessel DIRECTORY‘16, Navingo.
- [11] UK Met Office, 2016. Safesee, <http://www.metoffice.gov.uk/marine/solutions>